



Jurnal Pengembangan Energi Nuklir

Laman Jurnal: jurnal.batan.go.id/index.php/jpen

Desain dan Analisis Struktur Rangka Baja Gedung Turbin Reaktor Daya Eksperimental

Abdul Hafid¹, Eko Rudi Iswanto², Djati Hoesen Salimy¹

¹Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, BATAN, Jl Kawasan Puspipetek Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia

²Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, BATAN, Jl Kuningan Barat Mampang Prapatan Jaksel, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima:

4 Desember 2018

Diterima dalam bentuk revisi:

13 Februari 2019

Disetujui:

25 April 2019

Kata kunci:

gedung turbin RDE,
struktur baja,
kekuatan,
kekakuan,
lendutan

ABSTRAK

DESAIN DAN ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA GEDUNG TURBIN REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL. Telah dilakukan penelitian desain dan analisis struktur baja gedung turbin reaktor daya eksperimental (RDE). Tujuan dari penelitian adalah untuk memperoleh suatu model gedung turbin RDE yang memenuhi syarat ditinjau dari kekuatan dan kemampuan struktur dalam menerima beban selama pembangunan dan pengoperasian gedung turbin RDE. Untuk keperluan tersebut telah dilakukan desain dan pemodelan struktur kerangka baja gedung turbin RDE dengan mengacu kekuatan struktur sesuai SNI. Simulasi pengujian struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000, dengan melakukan variasi 10 kombinasi pembebanan. Parameter uji utama yang ditinjau adalah kekuatan dan kekakuan struktur. Hasil simulasi menunjukkan bahwa struktur memenuhi syarat kekuatan dan kekakuan sesuai SNI 1729:2015 dalam menerima kombinasi beban 1 sampai dengan 10. Hal ini dapat dilihat dari besarnya nilai stress capacity ratio maksimum sebesar 0,961 yang lebih kecil dari 1, dan lendutan maksimum yang terjadi sebesar 16,61 mm yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan nilai lendutan yang diijinkan yaitu 75,00 mm.

ABSTRACT

DESIGN AND ANALYSIS FOR STEEL FRAME STRUCTURE OF EXPERIMENTAL POWER REACTOR TURBINE BUILDING. Design and analysis of the steel structure of experimental power reactor (RDE) turbine building has been carried out. The purpose of the study was to obtain a model of RDE turbine building that meets the requirements in terms of the strength and capability of the structure in receiving loads during the construction and operation of the RDE turbine building. For this purpose, the design and modeling of the steel frame structure of the RDE turbine building has been carried out by referring to the strength of the structure according to SNI. Structural testing simulation is done using SAP2000 software, by variations of 10 load combinations. The main test parameters reviewed were structural strength and stiffness. The simulation results show that the structure meets the requirements of strength and stiffness according to SNI 1729: 2015 in accepting a combination of loads 1 through 10. This can be seen from the maximum stress capacity ratio value of 0.961 which is smaller than 1, and the maximum deflection that occurs at 16.61 mm which is much lower than the allowable deflection value of 75.00 mm.

Keywords: RDE turbine building, steel structure, strength, stiffness, deflection

© 2019 Jurnal Pengembangan Energi Nuklir. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Kegiatan *Pra Project* penelitian untuk penguasaan teknologi *Pebble Bed Reactor* (PBR) oleh BATAN bekerjasama dengan RENUKO dilakukan tahun 2014. RENUKO adalah gabungan konsorsium dalam dan luar negeri. Dari kerjasama BATAN-RENUKO dihasilkan konsep desain reaktor daya non komersial yang diberi nama Reaktor Daya Eksperimental (RDE). Tahun 2014 rencana untuk membangun RDE di PUSPIPTEK

diluncurkan oleh BATAN[1][2]. Izin RDE dari BAPETEN dilakukan dilakukan BATAN[3] hingga akhirnya di tahun 2017 diperoleh izin tapak RDE. Pada tahun 2017, BATAN membuat *basic desain* RDE berdasarkan *conceptual design* yang telah diterima. Direncanakan ada 4 gedung utama untuk mendukung operasi reaktor daya nuklir RDE, yaitu gedung reaktor (*reactor building*), gedung reaktor pendukung (*auxiliary building*), gedung *switchgear* (*switchgear building*), dan gedung turbin (*turbine building*)[4].

Turbin generator adalah peralatan pembangkit listrik yang vital dan mahal[5], memiliki

*Penulis korespondensi.
E-mail: ahafid@batan.go.id

bobot yang besar dan beban dinamik yang tinggi [6] sehingga gedung turbin dipertimbangkan untuk didesain menjadi satu gedung khusus. Gedung turbin RDE didesain dengan 24 kolom dari baja dan beberapa balok untuk rel jalan crane dan penguat [3]. Desain kolom diposisikan vertikal yang diperkuat dengan balok pada posisi horisontal atau membentuk sudut tertentu. Manfaat kolom adalah untuk mendukung semua beban serta mentransmisikan gaya vertikal ke pondasi dan tanah. Semua kolom berukuran sama dan harus ditempatkan lebih dari 3,6 meter [7]. Untuk itu perlu diatur dan didesain sedemikian rupa supaya standar yang digunakan dalam desain terpenuhi semua gaya-gaya pada dasar perlu diperhatikan Kegagalan kolom dapat menjadi masalah besar bagi gedung. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh suatu model gedung turbin RDE yang memenuhi syarat ditinjau dari kekuatan dan kemampuan struktur dalam menerima beban selama pembangunan dan pengoperasian gedung turbin RDE. Untuk mencapai tujuan penelitian digunakan metode analisis dengan perangkat lunak SAP2000 dan SNI.

Pengembangan desain gedung turbin dengan tambahan crane kapasitas maksimal 20 ton. Crane yang digunakan jenis double girder kapasitas 20 ton [8][9]. Kolom dan balok berdasarkan standar SNI 07 7178 : 2006 [10], dipilih menggunakan material Baja 37. Untuk analisis pembebanan pada struktur gedung turbin RDE, digunakan standar SNI 1727 tahun 2013 [11]. Gedung turbin direncanakan tahan gempa, dengan mengikuti standar pembagian 6 wilayah gempa di Indonesia [12]. Kawasan Puspipetek serpong yang menjadi calon lokasi pembangunan RDE, merupakan tanah sedang termasuk kategori wilayah 6. Standar yang digunakan SNI 1726:2012 [13]. Untuk kolom

digunakan H350x350x12x19 dan untuk balok bervariasi menggunakan SNI 07 7178 2006.

Selain itu struktur dimodelkan sebagai elemen batang dengan joint continues dan sambungan antar elemen tidak diperhitungkan. Struktur pada desain ini dianggap ideal dengan asumsi tidak ada cacat pada kolom dan balok. Hasil perhitungan pemeriksaan tidak boleh melewati batas syarat aman *stress capacity ratio* dan batas lendutan yang diizinkan. Batas syarat aman lendutan/defleksi yang diizinkan berdasarkan SNI 1729:2015 adalah panjang dibagi 180 ($L/180$).

2. POKOK BAHASAN

Konseptual desain RDE secara menyeluruh dibuat dari kerjasama BATAN-RENUKO. Desain gedung turbin RDE yang dihasilkan RENUKO [3] mengacu pada desain HTR-Modul. Pemodelan struktur, perhitungan dan analisis gedung turbin menggunakan perangkat lunak SAP2000. Material kolom dan balok dipilih menggunakan Baja 37 berdasarkan standar SNI 1729: 2015 [13]. Untuk analisis pembebanan pada struktur gedung turbin RDE, digunakan standar SNI 1727 tahun 2013.

Model bangunan 3D dihasilkan dengan SAP2000 [10]. Perhitungan pembebanan sebagai bangunan pra-desain dengan memperhitungkan beban mati dan beban mati tambahan yang permanen, beban hidup, beban angin [14] dan beban gempa dimodelkan pada SAP2000 [15].

2.1 SAP2000 Untuk Pemodelan

SAP2000 adalah perangkat lunak untuk analisis struktur. Dasar utama dari SAP2000 adalah metode elemen hingga (*Finite element method*). Fasilitas desain dengan SAP2000 hanya

untuk struktur baja dan beton [13]. Beberapa standar telah disediakan oleh SAP2000, misalnya AISC (*American Institute of Steel Construction*). Penggunaan standar yang tidak disediakan dapat dilakukan dengan menggunakan menu *custom*. Pada desain dan analisis rangka baja dalam makalah ini menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI). Untuk itu pemilihan jenis baja profil dan dimensinya mesti dimasukkan terlebih dahulu pada SAP2000. Setelah proses *input* baja profil dilanjutkan pembuatan bentuk struktur bangunan. Kemudahan dalam proses penggunaan SAP2000 adalah setelah pemodelan dapat langsung di-*run* untuk analisis. Perubahan dapat dilakukan dengan mengganti atau menambahkan kolom - balok kemudian dihitung ulang.

2.2 Pembebanan Gedung Turbin

Beban yang diterapkan pada struktur rangka baja gedung turbin terdiri dari beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Beban mati berupa berat struktur itu sendiri dan beban crane dengan kapasitas angkat 20 ton. Sedangkan beban hidup terdiri dari beban orang saat konstruksi dan perawatan gedung serta beban air hujan pada atap. Besarnya beban angin diperhitungkan sesuai SNI 1727:2013 tentang beban minimum untuk perancangan gedung dan struktur lain. Beban gempa dihitung berdasarkan SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung dengan menggunakan peta gempa tahun 2017.

Beban mati / *Dead Load* (DL). Beban mati berupa beban yang meliputi: kolom, balok/beam, rangka atap, dan *bracing*. Dalam SAP2000, beban ini sudah secara otomatis diperhitungkan dalam pendefinisian jenis beban menggunakan *input* masa jenis material dan dimensi penampang.

Beban Mati Tambahan / *Super Imposed Dead Load* (SIDL). Beban Mati Tambahan adalah beban mati yang sifatnya tambahan dan permanen, namun berasal dari elemen non struktural. Berat gording dan penutup atas dengan asumsi nilai SIDL sebesar 100 kg per *joint*. Beban crane kapasitas 20 ton beserta *trolley* dan *hoist* dengan berat total 21,63 ton.

Beban Hidup / *Live Load*. Beban hidup terdiri dari beban orang saat konstruksi dan perawatan gedung serta beban air hujan pada atap. Beban berat hidup dikenakan sebesar 133 kg/*joint* pada rangka atap.

Beban Gempa dengan *Respons Spectrum*. Beban gempa adalah beban yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi baik gempa tektonik maupun vulkanik yang mempengaruhi struktur [16]. Gempa bumi itu sendiri merupakan fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi [17]. Pada peraturan perencanaan beban gempa SNI 1726:2012 faktor-faktor perencanaan struktur terdiri dari geografis, kategori desain seismik dan sistem penahan gaya seismik. Data gempa berupa nilai percepatan seismik yang diperoleh dari hasil pengukuran semua parameternya dimasukkan ke *software* SAP2000 hingga diperoleh grafik *respon spectrum*.

Beban Angin. Beban angin diperhitungkan untuk memastikan bahwa rasio kekuatan struktur baja telah mencakup semua jenis pembebanan yang terjadi pada struktur [18]. Beban angin (*wind load*) diperhitungkan sesuai ketentuan SNI 1727:2013, dimana tekanan tiup angin (p) ditentukan sebesar 25 kg/m² untuk wilayah tepi laut dengan jarak lebih dari 5 km dari pantai. Koefisien angin untuk dinding vertikal gedung tertutup ditentukan sebagai berikut: di pihak angin

+0,9 dan di belakang angin -0,4 (tanda + berarti elemen tekanan dan tanda – berarti isapan).

Kombinasi Pembebanan. Pada analisis struktur rangka baja gedung turbin, diperhitungkan beban kombinasi dari beban mati (D), beban mati tambahan (SIDL), beban hidup (L), beban angin (Wx dan Wy) dan bebangempa dinamis *respons spectrum* (Qx dan Qy).

Sesuai SNI 1729:2015 tentang spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural, disebutkan bahwa suatu struktur atau komponen struktur setidaknya harus memenuhi syarat kekuatan dan syarat kekakuan.

Syarat kekuatan dikatakan terpenuhi jika struktur atau komponen struktur tersebut mempunyai harga kuat perlu (R_u) lebih kecil atau sama dengan kuat rencana (ϕR_n), atau mengikuti rumus:

$$R_u \leq \phi R_n \quad (1)$$

$$\frac{R_u}{\phi R_n} \leq 1 \quad (2)$$

Dengan,

Kuat perlu (R_u): gaya-gaya yang terjadi akibat beban yang bekerja pada struktur

Kuat rencana (ϕR_n): kapasitas/kemampuan yang dimiliki struktur dalam menerima beban.

Sesuai ketentuan SNI 1729:2015 disebutkan bahwa struktur atau komponen struktur dikatakan memenuhi syarat kekakuan jika lendutan/defleksi yang terjadi akibat beban yang bekerja masih lebih kecil dari lendutan yang diijinkan, memenuhi rumus:

$$\delta < \delta_i \quad (3)$$

dengan,

δ : lendutan/defleksi yang terjadi akibat beban yang bekerja

δ_i : lendutan/defleksi yang yang diijinkan sesuai SNI 1729:2015 (L/180), dengan L adalah panjang bentang.

3. METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis desain dengan berbasis model yang menerapkan metode elemen hingga. Pembuatan model struktur menggunakan perangkat lunak SAP2000.

3.2 Data, Asumsi dan Pemodelan Model

Dalam pemodelan struktur, input dimensi dan material yang digunakan adalah struktur baja yang mempunyai sifat material seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat material dan dimensi struktur baja [6]

Jenis baja	ST37 (SNI 1727:2013)
Modulus elastisitas (E)	20000 kg/mm ²
Berat jenis (ρ)	7,85x10 ⁻⁶ kg/mm ³
Poisson ratio (ν)	0,3
Kuat tarik (F_u)	370 N/mm ²
Kuat leleh (F_y)	240 N/mm ²

Pada pemodelan struktur rangka baja gedung turbin RDE, diterapkan asumsi sebagai berikut:

- Struktur dimodelkan sebagai elemen batang (*beam element*)
- Sambungan antar batang (frame) sebagai hubungan menerus (*continues*)
- Tumpuan berupa jepit
- Sambungan dan detil sambungan tidak diperhitungkan
- Struktur dalam kondisi ideal (tidak ada cacat/kerusakan)
- Gaya atau pembebanan akibat tekanan tanah arah lateral tidak diperhitungkan.

Komponen struktur rangka baja gedung turbin terdiri dari baja profil mengacu pada SNI 07 7178 2006[9], sebagai berikut:

- Profil IWF 350x350x12x19 untuk komponen utama kolom
- Profil IWF 200x175x6x9 untuk komponen rangka atap
- Profil IWF 200x75x5x7 untuk komponen rangka atap
- Profil IWF 350x175x7x11 untuk komponen konsol kolom penyangga balok crane
- Profil IWF 600x200x11x17 untuk komponen *beam rail* crane
- Profil IWF 27x161 standard beam untuk crane kapasitas 20 ton.

Struktur rangka baja gedung turbin yang dimodelkan seperti pada Gambar 1.

Tabel 3. Parameter *respons spectrum* [8]

Variabel	Nilai	Periode (detik)	SA (g)	Periode (detik)	SA (g)
PGA (g)	0,500	0	0,427	TS+1,6	0,190
SS (g)	0,900	T0	0,660	TS+1,7	0,182
S1 (g)	0,400	TS	0,660	TS+1,8	0,174
CRS	1,008	TS+0	0,660	TS+1,9	0,168
CR1	0,950	TS+0,1	0,572	TS+2	0,161
FPGA	1,000	TS+0,2	0,504	TS+2,1	0,155
FA	1,100	TS+0,3	0,451	TS+2,2	0,150
FV	1,600	TS+0,4	0,408	TS+2,3	0,145
PSA (g)	0,436	TS+0,5	0,372	TS+2,4	0,140
SMS (g)	0,990	TS+0,6	0,342	TS+2,5	0,136
SM1 (g)	0,640	TS+0,7	0,317	TS+2,6	0,131
SDS (g)	0,660	TS+0,8	0,295	TS+2,7	0,127
SD1 (g)	0,427	TS+0,9	0,276	TS+2,8	0,124
TO (detik)	0,129	TS+1	0,259	TS+2,9	0,120
TS (detik)	0,646	TS+1,1	0,244	TS+3	0,117
		TS+1,2	0,231	TS+3,1	0,114
		TS+1,3	0,219	TS+3,2	0,111
		TS+1,4	0,208	4	0,107
		TS+1,5	0,199		

3.3. Pembebanan Gedung Turbin

Pembebanan gedung turbin meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban angin dan beban gempa seperti pada Tabel 2. Pertimbangan pembebanan akibat angin dan gempa untuk tujuan keamanan, kemudahan layanan dan kenyamanan sumber daya manusia dan alat yang bekerja di dalam gedung[19]. Khusus untuk beban gempa dibuat dalam satu tabel sendiri yang memuat *respons spectrum* dari gempa yang digunakan untuk analisis model gedung turbin seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Beban pada struktur baja RDE

Beban mati	Berat setiap balok dan kolom
Beban mati tambahan	100 kg/joint
	21,63 ton terpusat tengah
Beban hidup	133 kg/joint
Beban angin	25 kg/m ²

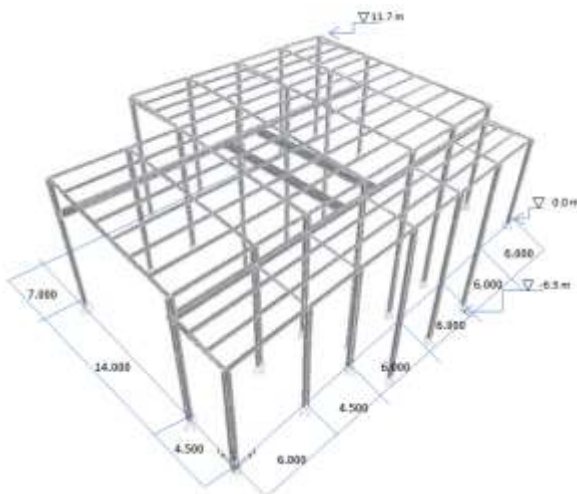
Beban Gempa dengan *Respons Spectrum*.

Respons spectrum yang digunakan pada pemodelan ini adalah *respons spectrum* untuk wilayah Tangerang Selatan. Daerah Tangerang Selatan tersusun atas endapan sungai dan pantai dengan jenis tanah sedang (D)[20]. Grafik *respons spectrum* diperoleh dengan mengacu pada SNI 1726:2012 dengan peta gempa tahun 2017. Parameter *respons spectrum* untuk wilayah Tangerang Selatan disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 2, yang akan digunakan sebagai input beban gempa dinamis pada SAP2000.

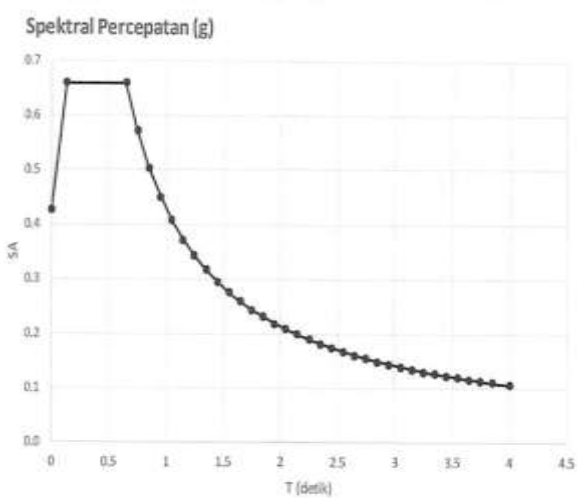
Berdasarkan data nilai percepatan dan periode gempa tahun 2017 seperti ditunjukkan pada Tabel 3 maka dibuat grafik *respons spectrum* dengan menggunakan fasilitas pembuatan grafik gempa pada *software* SAP2000, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil pemodelan *respons spectrum* SAP2000 akan digunakan untuk analisis perhitungan akibat beban gempa.

3.4. Syarat Kekakuan

Syarat kekakuan rangka baja diatur dalam SNI 1729:2015 sebagaimana disebutkan pada rumus (3). Setiap satu *frame* elemen akan memiliki batas defleksi masing-masing berdasarkan panjang dari tiap balok. Pada SAP2000 besar defleksi maksimal yang terjadi pada tiap balok dapat diperoleh. Secara visual dengan gambar tampilan struktur struktur 3D ditunjukkan pada Gambar 3. Analisis dilakukan pada elemen yang mengalami defleksi maksimum terhadap beban kombinasi.



Gambar 1. Model struktur rangka baja gedung turbin RDE.



Gambar 2. Grafik Respons Spectrum.

3.5 Kombinasi Pembebanan.

Perhitungan dan analisis dari semua beban yang diperhitungkan oleh SAP2000 dimuat dalam bentuk beban kombinasi. Pada dasarnya pada saat struktur terbangun maka beban yang terjadi pada struktur tidak akan berdiri sendiri-sendiri. Semua beban akan berhubungan satu dengan lainnya. Oleh karena itu data *input* beban dibuat sebagai beban kombinasi yang diberikan seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi 1:	1,4D
Kombinasi 2:	1,2D+1,6L
Kombinasi 3:	1,2D+1,0L+1,0W _x
Kombinasi 4:	1,2D+1,0L+1,0W _y
Kombinasi 5:	1,2D+1,0L+1,0Q _x +0,3Q _y
Kombinasi 6:	1,2D+1,0L+1,0Q _y +0,3Q _x
Kombinasi 7:	0,9D+1,0W _x
Kombinasi 8:	0,9D+1,0W _y
Kombinasi 9:	0,9D+1,0Q _x +0,3Q _y
Kombinasi 10:	0,9D+1,0Q _y +0,3Q _x

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil *output base reactions* simulasi dan pemodelan struktur gedung turbin menggunakan perangkat lunak SAP2000 disajikan pada Tabel 5 berupa reaksi gaya-gaya maksimal pada setiap kombinasi beban. Hasil analisis struktur rangka baja gedung turbin RDE terkait dengan nilai *stress capacity ratio* ($R_u / \phi R_n$) disajikan pada Tabel 6.

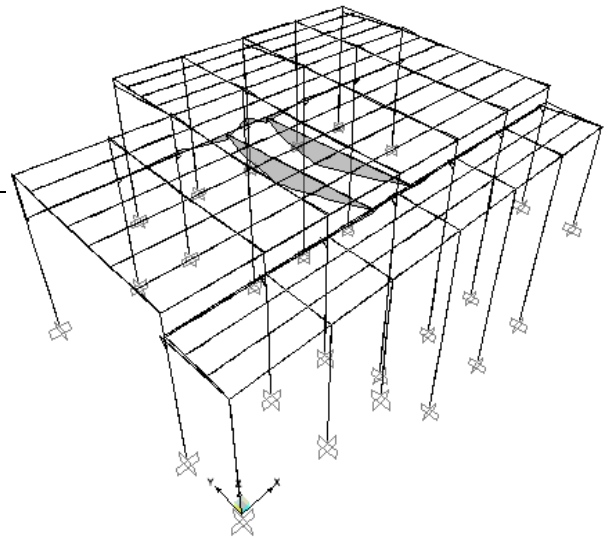
Perangkat lunak SAP2000 menampilkan hasil nilai *stress capacity ratio* maksimum dari beberapa kombinasi beban. Dalam studi ini, nilai *stress capacity ratio* maksimum sebesar 0,961 terjadi sebagai akibat kombinasi pembebanan nomor 2, yaitu 1,2D + 1,6 L.

Tabel 5. Base reaction pada struktur gedung turbin RDE

Table: Base Reaction								
Output Case	Case Type	Step Type	Global/Fx	Global/Fy	Global/Fz	Global/Mx	Global/My	Global/Mz
Text	Text	Text	kgf	kgf	kgf	kgf-m	kgf-m	kgf-m
COMB1	Combination		-2,98E-14	5,84E-09	153311,6	1871933	-2759989	1,04E-07
COMB2	Combination		2,295E-13	8,31E-09	152051,5	1845617	-27388450	1,48E-07
COMB3	Combination		1,256E-13	6,93E-09	143568,6	1746325	-2585474	1,24E-07
COMB4	Combination		1,256E-13	6,93E-09	143568,6	1746325	-2585474	1,24E-07
COMB5	Combination	Max	8,37	2,6	144311,1	1755226	-2598845	139,59
COMB5		Min	-8,37	-2,6	144310,7	1755181	-2598995	-139,59
COMB6	Combination	Max	3,07	6,9	144311,1	1755262	-2598893	161,16
COMB6		Min	-3,07	-6,9	144310,7	1755145	-2598847	-161,16
COMB7	Combination	Max	3,07	6,9	98557,3	1203444	-1774251	161,16
COMB7		Min	-3,07	-6,9	98557,7	1203327	-1774306	-161,16
COMB8	Combination	Max	8,37	2,6	98557,3	1203408	-1774203	139,59
COMB8		Min	-8,37	-2,6	98557,3	1203363	-1774354	-139,59
COMB9	Combination		-2,74E-14	3,61E-09	97815,1	1194507	-1760832	6,40E-08
COMB10	Combination		-2,74E-14	3,61E-09	97815,1	1194507	-1760832	6,40E-08

Tabel 6. Rekapitulasi hasil stress capacity ratio ($R_u / \phi R_n$)

No	Kombinasi Beban	Stress capacity ratio maks	Syarat SNI
		Elemen 125	
1	1:1,4D	0,739	
2	2:1,2D+1,6L	0,961	
3	3:1,2D+1,0L+1,0W _x	0,821	
4	4:1,2D+1,0L+1,0W _y	0,821	
5	5:1,2D+1,0L+1,0Q _x +0,3Q _y	0,833	
6	6:1,2D+1,0L+0,3Q _x +1,0Q _y	0,833	SNI ≤ 1729: 2015
7	7:0,9D+1,0W _x	0,459	
8	8: 0,9D+1,0W _y	0,459	
9	9: 0,9D+1,0Q _x +0,3Q _y	0,446	
10	10: 0,9D+0,3Q _x +1,0Q _y	0,446	



Gambar 3. Defleksi maksimum pada struktur rangka baja gedung turbin RDE

Di samping syarat kekuatan, struktur atau komponen struktur juga harus memenuhi syarat kekakuan, seperti pada rumus (3). Besarnya nilai defleksi maksimum yang terjadi pada balok/*beam* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Dari Gambar 3 diperoleh bahwa defleksi maksimum struktur rangka baja gedung turbin RDE terjadi pada perletakan crane beserta *trolley* dan *hoist* pada saat posisi crane di tengah beam. Balok tersebut merupakan elemen no 166 dan 167 dengan panjang balok (L) 13.500 mm. Hasil pemeriksaan defleksi pada perletakan crane tersebut terhadap beban kombinasi seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Defleksi maksimum gedung turbin RDE

No	Kombinasi Beban	defleksi maks Elemen 167	Syarat SNI
1	1:1,4D	16,61 mm	
2	2:1,2D+1,6L	14,86 mm	L/180
3	3:1,2D+1,0L+1,0W _x	14,86 mm	=
4	4:1,2D+1,0L+1,0W _y	14,86 mm	≤ 75 mm
5	9: 0,9D+1,0Q _x +0,3Q _y	12,23 mm	
6	10: 0,9D+0,3Q _x +1,0Q _y	12,23 mm	

Defleksi terbesar adalah sebesar 16,61 mm, dimana nilai ini merupakan hasil defleksi maksimal perhitungan yang terjadi pada kombinasi beban 1. Besar defleksi yang diijinkan sesuai SNI 1729:2015 adalah sebesar 75 mm. Defleksi yang terjadi memenuhi persyaratan defleksi yang diijinkan maka berdasarkan syarat kekakuan, struktur baja gedung turbin RDE memenuhi persyaratan. Berdasarkan hasil analisis *output* SAP2000, dapat diketahui bahwa struktur memenuhi syarat kekuatan dan kekakuan sesuai SNI 1729:2015 dalam menerima kombinasi beban 1 sampai dengan 10. Hal ini dapat dilihat dari besarnya nilai *stress capacity ratio* maksimum sebesar 0,961 yang lebih kecil dari 1, dan defleksi maksimum yang terjadi sebesar 16,61 mm yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan nilai lendutan yang diijinkan yaitu 75,00 mm seperti ditunjukkan pada Tabel 6 dan 7.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pada data, asumsi, dan pemodelan yang digunakan untuk mensimulasikan struktur gedung turbin RDE, dapat disimpulkan struktur rangka baja gedung turbin RDE mampu menahan kombinasi beban 1 sampai dengan 10 dengan kondisi aman atau memenuhi syarat kekuatan dan kekakuan sesuai SNI 1729:2015.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini dalam skema pendanaan Insinas *Flagship* RDE tahun 2018. Selain itu, penelitian ini juga dibiayai oleh DIPA PTKRN tahun 2018

DAFTAR ACUAN

- [1] T. Setiadipura, S. Bakhri, G. R. Sunaryo, dan D. S. Wisnusubroto, "Cooling passive safety features of Reaktor Daya Eksperimental Cooling Passive Safety Features of Reaktor Daya Eksperimental," AIP Conference Proceedings, vol. 020034. July, 2018., page .020034-1 to 020034-9..
- [2] RENUKO "The Document Preparation of Preliminary Engineering Design of the Experimental Power Reactor. Conceptual Design General Design Feature," October 2015.
- [3] M. D. Birmanno, "Perizinan reaktor daya eksperimental (rde) di indonesia," Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah-Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta, Juni 2015, hal. 74–81, 2015.
- [4] BATAN, "Penyusunan Dokumen Basic Design Engineering (BED) Reaktor Daya Eksperimental (RDE). Kriteria Desain dan Persyaratan Struktur," Agustus 2017.
- [5] M. Naik dan S. N. Tande, "Analysis and Design of Steam Turbine Generator Building with R . C . C . Deck," International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET), Volume 5, Issue 4, April 2016., pp. 5633–5641, .
- [6] A. U. Thakare, S. M. Rangari, "Effect of Seismic Parameters on Analysis of Turbo-Generator Foundation.," International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 4 Issue 05, May-2015, pp. 393-398.
- [7] P. Jayarajan dan K. M. Kouzer, "Dynamic Analysis of Turbo-generator Machine Foundations," Journal of Civil Engineering and Environmental Technology (JCEET), Volume 1, Number 4; August, 2014 pp. 30 – 35..
- [8] R. H. Zuberi, L. Kai, Z. Zuo, dan N. Vibration, "Design Optimization of EOT Crane Bridge Design

- Optimization of EOT Crane Bridge,” International Conference on Engineering Optimization, Rio de Janeiro, Brazil, June 2008, pp. 1-9.
- [9] P. R. Patel dan V. K. Patel, “A Review on Structural Analysis of Overhead Crane Girder Using FEA Technique,” International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), Volume 2, Issue 4, July 2013, pp. 41-44.
- [10] Badan Standardisasi Nasional (BSN), Standar Nasional Indonesia (SNI), “Baja profil WF – beam proses canai panas,” 2006.
- [11] M. Khafis, “Perencanaan struktur baja pada bangunan tujuh lantai sebagai hotel,” SKRIPSI, Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2009.
- [12] Badan Standardisasi Nasional (BSN), Standar Nasional Indonesia (SNI), “Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung,” 2012.
- [13] Badan Standardisasi Nasional (BSN), Standar Nasional Indonesia (SNI) “Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural,” 2015.
- [14] M. S. Kumawat and L. G. Kalurkar, “Analysis And Design Of Multistory Building Using Composite Structure,” International Journal of Structural and Civil Engineering Research, vol. 3, no. 2, May 2014, pp. 125-137.
- [15] S. Akhila, K. A. Chandh, “DESIGN OF PRE-ENGINEERED STEEL BUILDING FOR AIR CRAFT HANGAR USING STAAD PRO,” International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 03 Issue: 10, Oct -2016, pp. 796-800.
- [16] R. D. Ansyah, H. K. Buwono, “PERILAKU BANGUNAN STRUKTUR BAJA TERHADAP BEBAN GEMPA,” Jurnal Konstruksi, Volume 7 Nomor 2, April 2016, hal. 53-64.
- [17] A. Taveriyanto, “Bresing yang baik untuk struktur gedung tahan gempa,” Teknik Sipil & Perencanaan, Volume 13, Nomor 2, Juli 2011, hal: 169 – 180.
- [18] M. Kori, E. Triono, P. Beban, S. Roof, M. Kori, T. Subagio, J. Teknik, S. Fakultas, T. Universitas, dan N. Semarang, “Pengaruh beban angin terhadap struktur,” Jurnal Teknik SIPIL, Volume III, No. 2, Juli 2006, hal. 69 - 76.
- [19] K. R. Raju, M. I. Shereef, N. R. Iyer, dan S. Gopalakrishnan, “ANALYSIS AND DESIGN OF RC TALL BUILDING SUBJECTED TO WIND AND EARTHQUAKE LOADS”, The Eighth Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, Chennai, India, December 2013, pp. 844-852.
- [20] B. A. Wibowo, A. Rudiyanto, G. Ibrahim, Y.H. Ali, A. T .F Pereire, Trismahargyono, Studi Pendahuluan Mikrozonasi Kota Tangerang Selatan Melalui Analisis Nilai VS-30 dan Periode Dominan, Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Vol. 2 No. 3, Oktober 2015, hal. 95 - 106.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN